

(別紙5)

補助事業番号 2018M-101

補助事業名 平成30年度 先進的高性能冷却デバイス開発に必要な気液界面相変化を伴う濡れ挙動の解明 補助事業

補助事業者名 国立大学法人室蘭工業大学 今井 良二

1 研究の概要

地球温暖化の原因物質であるCO₂削減が社会的課題となっている。特にCO₂排出量の多い産業部門、輸送部門における各種機器、システムの省エネ化はCO₂削減に貢献する有効な手段である。その中で冷却技術は省エネを実現するのに必要な共通技術の一つである。例えば多大なエネルギーを消費するデータセンターの電子機器の冷却、CO₂を排出しない電気自動車のパワーデバイスの冷却がその例として挙げられる。しかしながら現状の冷却機器、システムは、古典的な空冷、水冷を適用したものが一般的であり、劇的な性能向上が実現されていない。本事業では、少量の冷媒で効率的な冷却を実現可能な、気化熱を利用した二相冷却システムを、電子機器、パワーデバイスに適用することを最終目的とする。特に薄い液膜上で発生する蒸発(薄液膜蒸発)を利用すると、非常に高い排熱密度(単位面積あたりの排熱量)を実現することが可能である。これにより、冷媒の少流量化が可能となり、冷却機器、システムの小型化、小規模化が実現される。薄液膜蒸発現象は、多大な排熱を実現できることは知られているが、非常に微細な領域で起こる現象であり、伝熱メカニズムは十分に解明されていない。薄液膜の形成においては、気液界面が固体壁面上を移動する濡れ現象が関与しており、かつ冷却に応用する場合は、濡れ現象に気液界面上での蒸発も考慮する必要がある。本事業では、気液界面上で蒸発を伴う濡れ現象を詳細に観察、計測する技術を確立することを目的とする。具体的には以下の項目を実施する。

(1) 微小重力実験を利用した蒸発を伴う濡れ挙動の詳細計測

薄液膜が濡れによる形成される状況を容易に形成することが可能な微小重力環境において、蒸発を伴う薄液膜の熱流動挙動を詳細に観察し、数値解析結果と合わせて、現象の解明を図る。

(2) マイクロチャネルにおける薄液膜蒸発による伝熱特性の計測

実機の冷却デバイスに近いマイクロチャネルを有する金属板を加熱し、チャネル内に試験液体を流通させて蒸発を伴う薄液膜を形成した場合の伝熱特性を詳細に計測する。

本成果を蒸発を伴う濡れ現象の解明およびこれを利用した冷却デバイスの実用化につなげることを狙う。

2 研究の目的と背景

本事業では、少量の冷媒で効率的な冷却を実現可能な、気化熱を利用した二相冷却システムを、電子機器、パワーデバイスに適用することを最終目的とし、これを達成するのに必要な、気液界面上で蒸発を伴う濡れ現象を詳細に観察、計測する技術を確立することを目的とする。

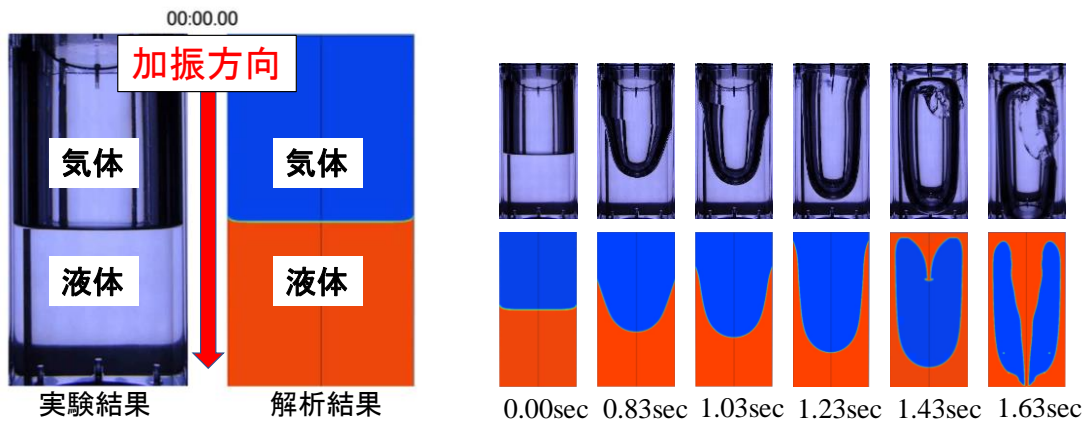
(別紙5)

3 研究内容

(1) 微小重力実験を利用した蒸発を伴う濡れ挙動の詳細計測

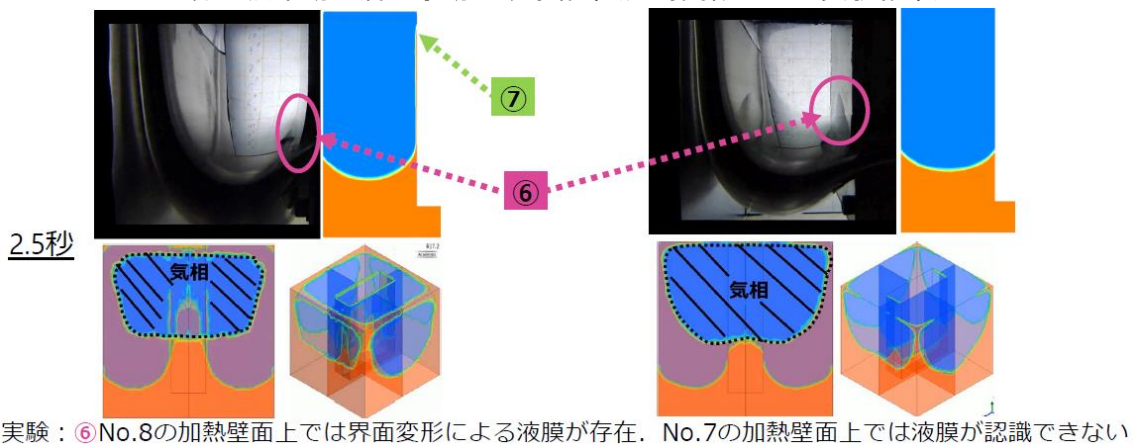
(http://www3.muroran-it.ac.jp/spacetfd/report.html#evap_cooling)

✓ No.5 内径/高さ 60mm/120mm 下向き加速度0.05G



頂部到達以降の液面形状に差異が見られたが、
時間経過における液体挙動は概ね一致した

非加熱系動的濡れ挙動の観察結果(短時間微小重力実験結果)



加熱による相変化を伴う動的濡れ挙動の観察結果(短時間微小重力実験結果)

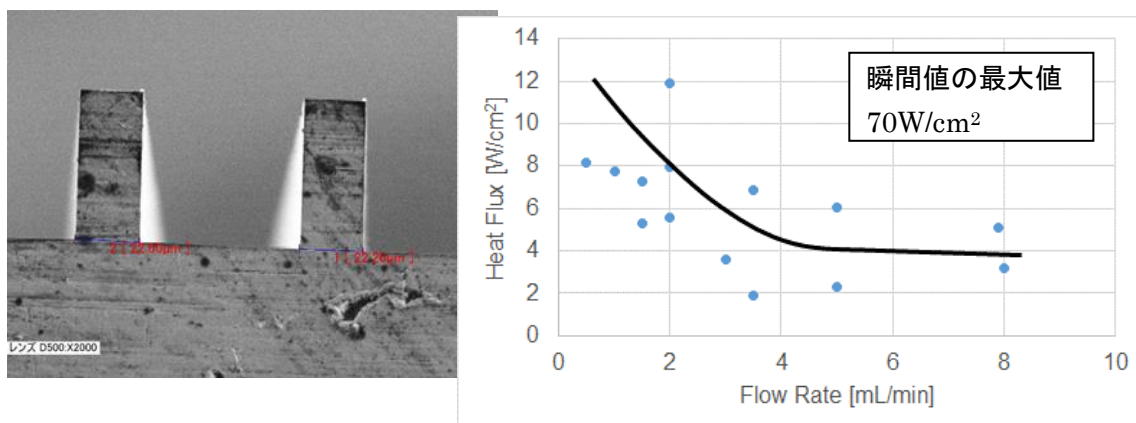
(別紙5)



減圧による相変化を伴う動的濡れ挙動の観察結果(短時間微小重力実験結果)

(2) マイクロチャンネルにおける薄液膜蒸発による伝熱特性の計測

(http://www3.muroran-it.ac.jp/spacetfd/report.html#evap_cooling)



減圧による相変化を伴う動的濡れ挙動の観察結果(短時間微小重力実験結果)

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

少量の冷媒で効率的な冷却を実現可能な、気化熱を利用した二相冷却システムを、電気自動車、航空機電動化システムに用いられる電子機器、パワーデバイスに適用することを最終目的とする。特に薄い液膜上で発生する蒸発(薄液膜蒸発)を利用すると、非常に高い排熱密度(単位面積あたりの排熱量)を実現することが可能である。これにより、冷媒の少流量化が可能となり、冷却機器、システムの小形化、小規模化が実現される。

(別紙5)

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究担当者は、これまでにLNGプラント、原子力、輸送システムの熱・流体問題に関する基盤研究、開発研究を担当してきた。本事業で得られた成果は、これらの分野の基盤技術の高度化に大いに貢献した。さらに本成果により、将来実施を検討している航空機の電動化システムの排熱技術の開発、宇宙推進系の対象とした、極低温液体貯槽の熱管理システムの開発の課題、シナリオ、方向性を策定が可能となり、新規のプロジェクトの立ち上げ、研究開発成果の創出により、社会貢献につなげることが可能である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

知財

該当なし

発表論文

- (1) 田村 健一郎, 道原 孟里, 今井 良二, 入熱を伴う微小重力環境下における動的濡れ挙動に関する研究, 日本マイクロ重力応用学会第30回学術講演会, 日本マイクロ重力応用学会, JASMAC-30講演論文集, 2018年10月29日, 岐阜市, 日本
- (2) 道原孟里, 田村健一郎, 今井良二, 微小重力環境下における宇宙機推進薬タンク内スロッシング挙動に関する基礎研究, 日本マイクロ重力応用学会, JASMAC-30講演論文集, 2018年10月29日, 岐阜市, 日本
- (3) 田村健一郎, 道原孟里, 今井良二, 微小重力環境下における入熱を伴う動的濡れ挙動の可視化実験と数値流体解析, 第96期流体工学部門講演会, 日本機械学会(流体工学部門), 第96期流体工学部門講演会講演論文集, 2018年11月29日, 室蘭市, 日本
- (4) 道原孟里, 今井良二, 宇宙機用推進薬タンクを対象とした微小重力環境下スロッシング挙動に関する基礎研究, 第96期流体工学部門講演会, 日本機械学会(流体工学部門), 第96期流体工学部門講演会講演論文集, 2018年11月29日, 室蘭市, 日本

(別紙5)

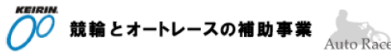
7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

(<http://www3.muroran-it.ac.jp/spacetfd/H30JKAreport.pdf>)

平成 30 年度
先進的高性能冷却デバイス開発に必要な気
液界面相変化を伴う濡れ挙動の解明

研究報告書



平成 31 年 3 月 31 日

室蘭工業大学大学院 航空宇宙総合工学コース

今井 良二

道原 孟里, 田村 健一郎, 郡司 理来

目次	
第 1 章 緒言	3
1-1 社会的課題の現状	3
1-2 目指す姿	3
1-3 本研究の目的	3
第 2 章 相変化を伴わない動的濡れ挙動の観察	4
2-1 毛細管内における動的接触角の測定	4
2-2 微小重力実験	11
2-3 鉛直方向スロッシング実験	15
2-4 まとめ	36
第 3 章 加熱による相変化を伴う動的濡れ挙動の観察	38
3-1 実験装置, 実験方法	38
3-2 供試体の加熱されていない角を上昇する液体の気液界面高さの時間変化	46
3-2-1 実験 No.2, No.3 の実験結果	48
3-2-2 実験 No.4, No.5 の実験結果	51
3-2-3 実験 No.6 の実験結果	53
3-2-4 実験 No.7, No.8 の実験結果	56
3-3 供試体の加熱されていない角を上昇する液体の界面高さの時間変化の結果	59
3-4 まとめ	62
3-5 今後の課題	62
第 4 章 減圧による相変化を伴う自由界面挙動の観察	64
4-1 目的	64
4-2 実験装置	64
4-3 実験方法	66
4-3-1 字内切り離し式落下装置による微小重力実験	66
4-3-2 落下塔による短時間微小重力実験	67
4-4 実験結果と考察	71
4-4-1 字内切り離し式落下装置による微小重力実験結果	71
4-4-2 落下塔による微小重力実験結果	73
4-5 参考文献	91
第 5 章 マイクロチャネル薄液膜蒸発現象を利用した高熱流束除熱の実証	92
5-1 薄液膜蒸発の伝熱特性	92
5-2 研究ターゲット	94
5-3 実験方法	94

5-3-1 実験概要	94
5-3-2 熱流束の算出方法	94
5-3-3 実験条件	95
5-3-4 マイクロチャネル	98
5-3-5 実験装置	99
5.4 実験結果	101
5.5 矩形断面マイクロチャネルを用いた場合の結果	101

1

2

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 室蘭工業大学大学院 航空宇宙総合工学コース

(ムロランコウギョウダイガクダイガクイン コウクウウチュウソウゴウコウガクコース)

住 所： 〒050-8585

北海道室蘭市水元町27-1

申 請 者： 教授 今井良二 (イマイ リョウジ)

担 当 部 署： 航空宇宙流体機械研究室 (コウクウウチュウリュタイキカイケンキョウウシツ)

E - m a i l : r_imai@mmm.muroran-it.ac.jp

U R L : <http://www3.muroran-it.ac.jp/spacetfd/index.html>